

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表平8-511634

(43) 公表日 平成8年(1996)12月3日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

庁内整理番号

F I

G 1 0 K 11/178

7426-5H

G 1 0 K 11/16

H

H 0 1 F 27/02

7135-5E

H 0 1 F 27/02

Z

27/33

7522-5E

27/33

審査請求 有 予備審査請求 有 (全 41 頁)

(21) 出願番号 特願平7-508708
 (86) (22) 出願日 平成6年(1994)9月2日
 (85) 翻訳文提出日 平成8年(1996)3月8日
 (86) 国際出願番号 PCT/US94/09712
 (87) 国際公開番号 WO95/07530
 (87) 国際公開日 平成7年(1995)3月16日
 (31) 優先権主張番号 08/118, 839
 (32) 優先日 1993年9月9日
 (33) 優先権主張国 米国 (US)
 (81) 指定国 EP(AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), CA, JP

(71) 出願人 ノイズ キャンセレーション テクノロジーズ インコーポレーテッド
 アメリカ合衆国メリーランド州21090、リンチカム、ウエスト ナースリー ロード 1015
 (72) 発明者 ヒルドブランド、ステフェン
 アメリカ合衆国バージニア州24041 アーリントン エス セブンティーンズ ストリート 1101
 (72) 発明者 フ、ジクィアン
 アメリカ合衆国メリーランド州24044 コロンビア ア コロンビア ロード 4901
 (74) 代理人 弁護士 ウォーレン・ジー・シミオール

(54) 【発明の名称】 静止誘導器用広域消音装置

(57) 【要約】

本発明は、一般的には広域騒音又は音響制御に関し、さらに詳しくいえば、電力変圧器や分路リアクトルなどの静止誘導器から放射される音響の能動囲壁及び能動パネルを使用しての制御に関する。発明の目的は、機械から周囲の音場におけるすべての観測点への音響の放射を機械の保守又は修理を損なわない非常に軽量小形で非気密な構造で顕著に低減することである。

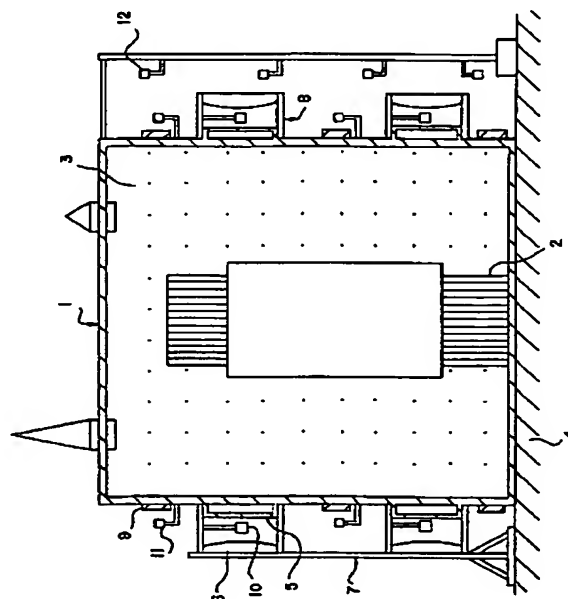


FIG. 1

【特許請求の範囲】

1. 静止誘導器における振動減少を制御する能動消音装置において、

音響残差信号と能動音響アクチュエータを検出するように適応された適応制御手段と、

前記制御手段に作動可能に接続されて前記静止誘導器に隣接して置かれるように適応され、反振動現象を放射することによって振動の大きな定常波形を制御して前記定常波形を制御するように適応された少なくとも一つのアクチュエータ手段と、

前記制御手段に作動可能に接続されてそれに残差信号を与えて減衰過程を絶えず更新するセンサ手段とを備え、

前記消音装置が前記静止誘導器にできるだけ近くに、結合を妨げる前記反振動現象なしに音響的に結合するように適応されている能動消音装置。

2. 前記アクチュエータ手段が曲面アクチュエータ手段を備え、前記曲面が前記静止誘導器に面するように適応され、前記センサ手段が前記静止誘導器と前記アクチュエータ手段の間に取付けられるように適応されている請求項 1 に記載の装置。

3. 前記静止誘導器の周りに音響的に結合された方法で取付けられるように適応された多重アクチュエータ手段と、各前記アクチュエータ手段と関連しそれらと前記静止誘導器の間に取付けられるように適応された多重センサ手段とを備える請求項 2 に記載の装置。

4. 前記アクチュエータ手段が第 1 及び第 2 のアクチュエータ手段を備え、前記第 1 のアクチュエータ手段が前記定常波形を反振動によって無効にするように前記振動現象の定常波形に対向して前記静止誘導器に隣接して置かれるように適応されている請求項 1 に記載の装置。

5. 前記第 1 のアクチュエータ手段が曲面アクチュエータを備え、曲面が前記静止誘導器上の定常波形領域に面するように適応されている請求項 4 に記載の装置。

6. 前記第 2 のアクチュエータ手段が局在高振動領域を作る領域に前記静止誘導器にすぐ隣接して置かれるように適応された圧電アクチュエータを備える

請求項 4 に記載の装置。

7. 前記センサ手段が前記圧電セラミックアクチュエータに取付けられた加速度計手段を備える請求項 6 に記載の装置。

8. 前記第 2 のアクチュエータ手段が同じ位相又は 180° 反対の位相にある一つのチャンネルに電子的につなぎ込まれている請求項 6 に記載の装置。

9. 誘導手段と、

前記誘導手段との間に空間を設けるように前記誘導手段を取り囲むタンクと、

前記空間内にある流体媒体と、前記誘導手段が前記媒体内に前記タンクに振動現象を発生するように適応されており、

前記タンクに関連し音響的に結合された方式で反振動現象を発生するように適応され、それによって前記振動現象から生ずる騒音を減衰させる制御手段を備える能動騒音減衰手段と

を備える静かな静止誘導器。

10. 前記能動騒音減衰手段が前記タンクに隣接して置かれた少なくとも一つのアクチュエータ手段とそれと関連し前記振動現象と反振動源の相互作用から生ずる残差信号を検知する随伴センサ手段を備える請求項 9 に記載の静止誘導器。

11. 前記アクチュエータ手段がタンク上の振動現象の定常波形に面する曲面を有する曲面アクチュエータを備え、前記センサ手段が前記タンクと前記曲面の間のほぼ中間にあるセンサを備えている請求項 10 に記載の静止誘導器。

12. 前記アクチュエータ手段が高い振動の局在領域を覆って前記タンクに取付けられた圧電セラミックアクチュエータを備える請求項 10 に記載の静止誘導器。

13. 前記センサ手段が前記圧電セラミックアクチュエータに取付けたセンサを備える請求項 12 に記載の静止誘導器。

14. 前記アクチュエータ手段が振動現象の定常波形の領域に隣接して取付けられた曲面アクチュエータを追加して備える請求項 12 に記載の静止誘導器。

15. 前記センサ手段が前記曲面アクチュエータと前記タンクのほぼ間に置かれ

た第1のセンサ手段と、前記圧電セラミックアクチュエータ上に置かれ、それによって残差信号を前記制御手段に与えて制御手段が定常波形と高振動現象の局在領域の両方を減衰させることができるようにする第2のセンサ手段を備える請求項14に記載の静止誘導器。

16. 能動消音技術を用いて静止誘導器を消音する方法において、

振動現象によって前記静止誘導器に隣接して生じた最大変形の領域を測定する段階と、

アクチュエータ手段をそれらの最大変形領域に置く段階と、

反対位相で反対向きの振動現象を生じて前記変形を減衰させ前記静止誘導器を消音するように前記アクチュエータ手段を起動する段階と

を備える静止誘導器を消音する方法。

17. 最大変形の領域を測定する前記段階が測定手段で前記静止誘導器の全表面を走査し、その変形のプロットを作る段階を含みそれによって前記静止誘導器を音源として特徴づけている請求項16に記載の方法。

18. 前記走査が強さを測定するための加速度計で行われる請求項17に記載の方法。

19. 前記走査が圧力センサで行われる請求項17に記載の方法。

20. 最大変形の領域にアクチュエータ手段を置く前記段階が

変形現象が定常波形の形で起こる領域に隣接して大きなアクチュエータ手段を置く段階と、

局部変形現象を有する領域に隣接して小さなアクチュエータ手段を置く段階と

を備える請求項16に記載の方法。

21. 前記大きなアクチュエータ手段が曲面を有し、前記曲面が前記誘導器に面するように置かれている請求項20に記載の方法。

22. 前記小さなアクチュエータ手段が前記誘導器にすぐに隣接して置かれている圧電セラミックアクチュエータである請求項20に記載の方法。

23. 各前記小さなアクチュエータと一緒に電子的に一つのチャンネルに引っかける追加の段階を備える請求項20に記載の方法。

24. センサ手段を前記静止誘導器と前記アクチュエータ手段のほぼ間に置く段階をさらに備える請求項16に記載の方法。

25. 前記アクチュエータ手段が前記静止誘導器と前記センサ手段に面して置かれている曲面を有する請求項24に記載の方法。

26. センサ手段を前記アクチュエータ手段の上に置く段階を備える請求項16に記載の方法。

27. 前記アクチュエータ手段が前記静止誘導器に直に隣接して置かれた圧電セラミックアクチュエータである請求項26に記載の方法。

28. 前記センサ手段が加速度計である請求項27に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

静止誘導器用広域消音装置

発明の背景

発明の分野

本発明は、電力変圧器又は分路リアクトルなどの静止誘導器のタンクから発生される騒音を小さくする防音装置に関する。それは、1992年10月8日出願の米国特許出願第PCN/US92/08401号に記載された「能動音響伝搬損失箱」の特定の実現である。

背景技術

電力変圧器や分路リアクトルなどの静止誘導器が送電のための事業用変電所やその他の場所で使われている。これらの装置は、変電所の近くで働いていたり、住んでいる人々に対する騒音公害の源である低周波ハムを発生する。騒音はタンクに（直接又は油を介して）伝えられる鉄心の磁歪によるものである。次いで振動するタンクは、遠距離音場に音響エネルギーを放射する。北アメリカにおける静止誘導器は120Hzの音（さらに120Hz基本波の高調波）を発生する。

静止誘導器の騒音を減らすために受動技術を試みたが、成功したのは限られたものだけであった。一つの方法は変圧器やリアクトルを高価な石造建物で囲う必要がある。カノイ・ミノルほかによって論じられ、本明細書に引用することによって組入れられた1985年4月30日付け米国特許4,514,714号「静止誘導器用の防音装置」のもう一つの方法は、タンクを複雑な多層音響減衰パネルで完全に覆う必要がある。これらのパネルの各々はまた精密に同調をとられた吸収体を必要とする。これらの方法は両方共高価であり、保守と修理を制限する。なお、受動パネルは改装として使用するには不適當である。騒音低減がこれらの受動技術ではほんの約10dBAに限られている。

能動技術もまた静止誘導器の騒音を減らすために試みられたが成功したのはほんの限られたものだけであった。例えば、本明細書に引用することによって組入れられたコノバー（Conover）の米国特許第2,776,020号「変圧

器用の騒音低減装置」（1957年1月1日）は一連の拡声器を変圧器に沿って

取付け、この回路が、再調整を必要とする時点で、短時間づつの間変圧器の片側からの騒音を減らすことができた。もっと最近では、本明細書に引用することによって組込まれたカナダ、トロントの「プロシーディング・オブ・インタノイズ (Proceedings of Inter-noise) '92」1992年6月20～22日のアンジュビン (Angevine) の「大形変圧器のハムの能動消去」がこの実験を8個の拡声器の配列、及び拡声器への信号を調節するための二つの4チャンネル適応制御装置を用いて繰返した。アンジュビンは、変圧器から数メートルのところに置いた拡声器と変圧器から約30mのところに置いたマイクロホンを用いた。変圧器からそれほど遠く離れたマイクロホンで適当な騒音測定値を得ることは非常に困難である。適当な信号対騒音比を得るためには、暗騒音が低いことが必要である。少しの風又は温度の小さな変化があると伝達関数測定の本質が悪くなる。アンジュビンは狭い角度(30°以下)にわたる限られた低減を報告している。アンジュビンは風又は温度変化で性能が落ちることを報告している。この方法は、それが変圧器騒音の連続的な広域消去をできず、物理的にじゃまになるので商業的にはほとんど役に立たない。

試みられたが成功が限られていたもう一つの能動的方法は米国特許第4,435,751号において論じられているタンク壁に取付けられた振動器の使用である。この方法に伴う困難は、振動器を取付けた場所でタンクの振動を局部的に減らすことができるが、この振動は第1高調波を消去するとき、タンク上の他の場所で必ず増加する。この困難は、磁歪の基本振動数における変圧器鉄心の体積変化によるものである。変圧器油は本質的に非圧縮性なので、タンク上の1点における振動の減少がタンクの他の非制御領域における振動の増加をたぶん生ずるであろう。タンク表面全体を制御することは实际的ではなく、最終的な結果は、広域騒音低減は得られない。

変圧器騒音の連続的な広域消去を得るのに必要なものは、1992年10月8日出願のPCT出願 PCT/US92/08401において、フラー (Fuller)、マクローリン (McLoughlin) 及びヒルデブランド (Hildebrand) によって記載された「能動音響伝搬損失箱」(本明細書に引用に

よって組入れられている) 及びトレッタ (T r e t t e r) の1992年2月25日付け米国特許第5, 091, 953号の「多センサ及び多アクチュエータを備えた反復現象消去装置」(本明細書に引用によって組入れられている) に記載の多重相互作用自己適応制御装置の特定の実現である。フラーほかが記載しているように、電力変圧器などの機械類から出る騒音を低減させるために能動囲壁や能動パネルを使用できる。しかし、「能動音響伝搬損失箱」が電力変圧器や同様の機械類から出る騒音の制御に商業的に好結果を得るのに必要な二、三のユニークで変った改良形がある。

発明の簡単な説明

こゝに記載の発明は、変圧器に取付けられ、多重相互作用自己適用制御装置に接続されたアクチュエータとセンサのシステムからなり、前記システムが妥当な価格で広域遠距離音場音響低減を生ずる。アクチュエータ及びセンサを置く場所を決める方法は、本発明の請求の範囲である。また、前記音響低減を達成するのに必要で、多年の間環境に曝される戸外での使用に適するアクチュエータの好ましい実施態様が請求されている。

発明の目的

したがって、本発明の目的は静止誘導器から放射される音の高減衰を従来技術の欠点なしに達成することである。これは、能動囲壁及び能動パネルの両方を利用する「能動音響伝搬損失箱」の特定の実現で達成される。

本発明のもう一つの目的は、極軽量の薄い材料で構成された上記能動パネル及び放射された騒音を低減するための能動囲壁としてそれ自体用いられるタンクの側面で行う音響の非常に高い広域(こゝで広域という語は拡大体積全体にわたることを意味する)の低減を達成することである。

本発明のもう一つの目的は、機械類を完全には囲まない(すなわち、気密でない) 能動パネルであり、むしろそれらのパネルは能動パネル間にあるかなりの空隙間又は穴を有する能動パネルで、非常に高度の広域音響減衰を達成することである。

本発明のもう一つの目的は、環境(例えば、風又は道路の騒音) 又は隣接機械(例えば、隣接する変圧器) によるほかの場合なら弱まる騒音を軽減するために

変圧器又は機械類の表面に非常に接近して又は表面上に置かれたセンサで非常に高度の広域音響減衰を達成することである。

本発明のもう一つの目的は、機械への大きな変化又は環境の要因（例えば、温度又は湿度）の大きな変化があっても有効のままであるようにオンラインで自動的に較正し直しできる（すなわち、オンライン・システム識別をもっている）多重相互作用性自己適応制御装置で非常に高度の広域音響減衰を達成することである。

本発明のもう一つの目的は、大規模広域騒音低減を得るのに必要なように、変圧器の頂部、側部及び底部取付けたアクチュエータとセンサで非常に高度の広域音響減衰を達成することである。

本発明のそのほかの目的は、音圧を測定するマイクロホン、タンクの振動を測定する加速度計又は、適当な信号処理をして音の強さを測定する複数のマイクロホン著しくは複数の加速度計の組合せ又はマイクロホンと加速度計の組合せからなるセンサを用いて前記低減を達成することである。

本発明のもう一つの目的は、誘導器の騒音減衰を音の強さを測定し、前記測定値からプロットを作り、前記プロットに基づいて前記誘導器の騒音を能動的に消音することによって最適化する方法を提供することである。

これら及びその他の目的は、以下の添付図面を参照するとき当者に明らかになる。

図1は、能動囲壁と能動パネルに用いられるアクチュエータ及びマイクロホン・センサを示す変圧器の断面図である。

図2は、変圧器タンクの三つの図である。

図3は、図2に示した変圧器タンクの東側に対する120Hzにおける振動試験結果を示している。

図4は、図2に示した変圧器タンクの東側に対する120Hzにおける音の強さを示している。

図5は、図2に示した変圧器タンクの東側に対する240Hzにおける振動試験結

果を示している。

図6は、図2に示した変圧器タンクの東側に対する240Hzにおける音の強さを示している。

図7は、図2に示した変圧器タンクの北側に対する120Hzにおける振動試験結果を示している。

図8は、図2に示した変圧器タンクの北側に対する120Hzにおける音の強さを示している。

図9は図2に示した変圧器タンクの北側に対する240Hzにおける振動試験結果を示している。

図10は、図2に示した変圧器タンクの北側に対する240Hzにおける音の強さを示している。

図11は、タンク壁が能動囲壁として作用するようなタンク壁の切取図をもった多層セラミックの詳細図である。

図12は、二つの水平リブを示しているタンク壁の切取図を示し、圧電アクチュエータをタンク壁に取付ける代表的計画も示されている。

図13は、能動パネルの一つの形態の断面図である。

図14は、能動パネルの一つの形態の斜視図である。

図15a及び15bは、能動パネルを最適性能に同調させる方法を示している。

図16は、能動パネルの隣接図のついでにある変圧器タンクのリブの切取図である。この図は、変圧器タンクと能動パネルの間の代表的相互作用を示している。

図17及び18は、図2に示した変圧器の東側及び北側に対する圧電セラミックと能動パネルの好ましい配置を示している。

図19は、異なる変圧器タンクの設計の断面を示している。タンクと基礎の間の支持体に注意されたい。図19は、圧電アクチュエータと能動パネルのためのいくつかの代表的代替取付場所を示し、アクチュエータ及びセンサをラジェータの騒音を消音するために使用することを含んでいる。

図20は、完全な能動制御装置のブロック図である。

図 2 1 及び 2 2 は、タンクが図 2 に示されている変圧器に取付けた能動制御装置で得られる騒音低減を示している。

本発明のなおその他の目的と利点は、本発明の好ましい実施例だけが発明を実施するために考えられた最良の態様を例示することによって示されて記載された

以下の詳細な説明から当業者に容易に明らかになる。このあと明らかになるように、本発明は他の異なる実施態様が可能であり、本発明の若干の細部は本発明からそれることなく若干の明白な方法で変更できる。したがって、図面を説明は全く単なる例示としてみなされるべきで、制限としてみなされるべきではない。

次に、類似の部品を表わすために種々の図を通じて類似の参照数字が用いられている図面について、さらに具体的には図 1 について説明する。1 は変圧器タンクを表わし、2 は変圧器の巻線付き鉄心を表わしている。タンク 1 には変圧器油 3 が充填されて、鉄心 2 を取り囲んでいる。変圧器タンク 1 は基礎 4 の上に載っている。代表的な側面補強材であるリブ 5 が 4 個所に示されている。

代表的能動制御装置の形態が図 1 に示されている。能動パネル 6 の側面図が 4 個所に示されている。これらはスタンド 7 で支持されるか、支持体 8 を介して直接に変圧器に取付けられる。圧電アクチュエータ 9 の側面図が 6 個所に示されている。これらはタンク 1 に直接に取付けられている。若干のマイクロホンも示されている。一つのマイクロホン 10 が能動パネル 6 とリブ 5 の間にある。もう一つのマイクロホン 11 がタンクに直接に取付けられている。もう一つのマイクロホン 12 はそれ特有のスタンドに取付けられている。

図 2 は、代表的な変圧器タンク 1 を示している。このタンクは約 2.44 m 幅 × 1.22 m 奥行 × 3.05 m 高さであり、7.5 MVA 変圧器用のものである。それが騒音を発生している様子を決めるために、「動作時たわみ形」が変圧器の各側面ごとにとられる。詳しくいえば一つの加速度時計が固定して保持され（例えば、タンク 1 の 1 側面の隅に置かれる）、第 2 の加速度計がタンク 1 の表面を「走査」するのに用いられる。すなわち、基準加速度計に対する大きさと位相が変圧器タンク 1 の表面に沿って数 cm ごとに測定される。この測定は、変圧器の 1 次側を付製して 2 次側に通常の負荷をつないで行われる。結果として得られ

る測定値は、周波数成分に分解されてタンクの表面の結果として生ずる空間波形が求められる。120Hzにおけるタンク1の東側の運動の図が図3に示されている。この図は、120Hzにおけるタンクの表面のピーク運動の時間を止めた「スナップ」である。タンクの表面を表わす一連の水平線が示されている。これらの水平線は、変形していない表面上では直線のように見える。左側と右側が別

々に測定されてつなぎ合されたので、垂直の中心線に沿ってすき間がある。両方の水平リブ5がいかに外側に膨らんで見えるかに注意されたい。それらのリブは共に180°位相が遅れて内方に膨らんでいる。この振動データは、レイリー積分（変圧器が無限のじやま板の中にあるかのように変圧器の各側面を処理することによって）又は境界要素法を用いて放射音場を計算するのに使用できる。東側に対する音の強さは図3の測定データとレイリー積分を用いてタンクの表面から数cmのところで計算し、結果は図4に示されている。東側から同じ距離における音の強さも測定されて事実上同一の結果であった。図4における二つの「膨らみ」は水平リブに対応している。明らかにリブの運動は、120Hzで1次音源である。240Hzにおける東側に対する動作時たわみ形は図5に示され、対応する予想音の強さは図6に示されている。240Hzにおける東側の場合、リブ5及び各リブ5の間のタンク1の両方が音響エネルギーの主要な源である。

次にこの過程は図2に示されたタンクの北側に対して繰返された。120Hzにおける北側の動作時たわみ形は図7に示され、計算音の強さは図8に示されている。北側にあるタンク1の底は、120Hzにおける1次音響源である。240Hzにおける北側の動作時たわみ形は図9に示され、計算音の強さは図10に示されている。タンク1の北側にある二つのリブ5は、240Hzにおける1次音源である。

この過程は西側及び南側に対して繰返された。高次高調波（すなわち、360Hz、480Hzなど）も同様にして評価できたが、高次高調波はこの変圧器に対する主要な音響源でないと結論された。

上述のように変圧器タンクを音源として理解することは、能動制御戦略を開発するときの主要な第1ステップである。変圧器から離れた拡声器とマイクロホン

を利用する決定の能動制御方法は、それらが反騒音源を騒音源に密に結合することの重要性を認めることができないことに起因して失敗した。「密に結合する」という言葉によって、反騒音源が騒音源の所在場所、分布及び大きさにできるだけ密にマッチすることを意味する。密結合は、最小費用で広域低減を得るための能動制御に不可欠である。もちろん、これはまず、変圧器タンクを音源として理解するために上述した基線測定を行うことを必要とするので、反騒音源の所在場

所、分布及び大きさを決定できる。アクチュエータを置くための基線測定を行う方法は本発明の一つの面である。

変圧器騒音を制御する場合、最良の結合は、圧電セラミックなどのアクチュエータを変圧器タンクに直接に取付けることによって得られる。しかし、変圧器騒音の第 1 高調波 (120 Hz) を制御する特別の注意が必要である。これは、鉄心における磁歪が鉄心の体積変化を生ずるからである。したがって、鉄心は、実効的に第 1 高調波における変位源である。変圧器油は非圧縮性なので、鉄心の変位源は、タンクに直接に移り、そのためにタンクは大きな変位源になる。この大きな変位源の振動を制御することが实际的でない - - 法外な量の力を必要とするだろう (すなわち、十分な「制御オーソリティ」が欠けているであろう)。第 1 高調波を制御する従来の試みはそれらがタンクの振動を制御しようとしたので、失敗した。満足のゆく方法は、タンク接近して取付けられているが接触しない能動パネルを用いることである。これらの能動パネルは、音響エネルギーを遠距離音場に放射できる前に音響エネルギーを捕える同調吸音体として作用する。

図 11 は、タンク 1 に取付けられた圧電アクチュエータ 9 の詳細図である。これは、一体センサ 12 を持った多層装置である。この種の装置は、本明細書に引用によって組入れられたヒルデブランドの 1993 年 5 月 5 日出願の米国特許出願第 08/057,944 号の「低圧ベンダ圧電アクチュエータ (Low Voltage Bender Piezo Actuator)」に記載されている。図 11 は、2 層装置の配線構成を示しているが、普通は多層が使用される。圧電セラミックは環境からの保護のために適当に被覆されている。センサはマイクロホン若しくは加速度計又は両者の組合せにすることができる。これらのセンサ

からの信号は、普通は、信号が遠距離音場音圧測定値を表わすような方法でフィルタされる（加速度計とマイクロホンが用いられなければ、その場合は、フィルタされた信号は音の強さを表す）。

どのタンクモードが1次音源であるかを基線試験から一たん求めて終うと、これらのタンクモードは第2及び高次のモードに対して適当に置かれた圧電セラミックを用いて制御できる。圧電セラミックをタンクに付けると、タンクは、変圧器（又はリアクトル）の鉄心のための能動囲壁になる。図12は圧電アクチュエ

ータをタンク上に置く方法を示している。図12は変圧器タンク1の二つのリブ5間の部分を示している。タンクには、第2高調波に対して測定されるものに代表的な動作時たわみ形Xが重ねられている。基線試験はこの動作時たわみ形が第2高調波で生じていると仮定するとともに、それが主要音源であると仮定しよう。圧電セラミック9a、9b及び9cが最大動歪エネルギーの各領域の中心に置かれている。各半波長ごとに一つのアクチュエータが必要でないかもしれない - 十分な制御オーソリテイが、タンクが鉄心によって励振されているはげしさの程度によっては、単一の圧電セラミック9bを用いて得られることがよい。

励振されているタンクモードの共鳴周波数が励振周波数の高調波に近ければ、タンクモードは、 180° 位相の異なる対向半波長のある定常波として見える。これは、図12示した場合である。そのとき、圧電セラミック9a、9b及び9cは、中央のアクチュエータ（9b）に至るリード線を 180° の位相偏移を得るように逆にして同じ制御チャネルにつなぐことができる。励振されているタンクモードの共鳴周波数が励振周波数の高調波近くなければ、タンクモードは各半波長がわずかに異なる位相をもつ進行波として見える。そのとき、各圧電セラミック9は異なる制御チャネルにつながなければならない。

この能動囲壁のための圧電セラミックは、非常に少しの電力 - - 25W未満、もっと普通には、5W未満 - - を消費するのが普通であることに注意されたい。

普通は、圧電セラミックは、基本励振周波数（120Hz）近くのタンクモードに適当な制御オーソリテイを与えない。これは、変圧器油の非圧縮性ととともに基本周波数における鉄心の体積変化によるものだろう。この場合に、能動パネル

ガ能動囲壁より有効である。能動パネルトタンクの間の圧縮性空気は制御オーディオが問題にならないようにアクチュエータの相互結合を十分に断つ。

能動パネルの好ましい実施例の断面図が13に示されている。参照数字13はわずかな湾曲をもったパネル板で、低い構造的減衰特性の金属又は非金属材料で作られる。曲がっていることは、平らなパネルより寸法的に安定なので、湾曲が与えられており、したがって同調をとったり同調状態を保つのがより容易である。この板13は、角管16と締結具17を用いて平らなパネル14に締付けられている。能動パネルのもう一つの図が図14に示されている。湾曲板は、湾曲板の

曲率を持つような具合に取付けられた圧電セラミック・アクチュエータ15で駆動される。変圧器によって作られるトーンは定常的なので、この能動パネルは、音響出力を大きくするために容易に同調させることができる。このパネルの側面は、好ましい実施例においてはふさがれている。

好ましい同調方法は、例示の目的のためだけに湾曲板を平らなものとして示してある図15に示されている。平らな板の上には、この装置が同調させられているモードの形が重ねられている。この板13の寸法は図15aの(0, 3)モードが、アクチュエータを120Hzの基本共鳴周波数で駆動するとき励振されるように選択されている。(1, 3)モードはもう一つの有効な反騒音源であり、このモードの形は図15bに例示されている。(0, 3)モードが120Hzの基本励振周波数にあるようにパネルを同調させると第2高調波より大きい共鳴周波数すなわち、所望の240Hzより大きい)にある(1, 3)モードになる。しかし、(1, 3)モードに対する共鳴周波数は、(1, 3)モードに対するピークがある(0, 3)モードに対する節線に沿って重り18(図13参照)を置くことによって、(0, 3)モードに悪影響を与えることなく所望の周波数(240Hz)に下げることができる。この方法をパネルを同調させるの用いて、変圧器の騒音を消去するときパネルによって消費される電力を非常に小さくする - 普通は5W/パネル未満で、50mW/パネルに小さいことも多い。この能動パネル構成は、能動パネルの分散形(配置個所が分散している)性質は、タンク

の騒音の分散形（源が分散している）性質と大へんよく結合するので、従来の拡声器の設計に好まれており、圧電セラミック励振器15及び板13は可動コイルとスピーカコーンより本質的に信頼できる。能動パネルは、基本的に設計が頑丈で、－それは多年の間風雨にさらされる戸外で破損することなく使用できるように設計できる。

能動パネルの変圧器タンクとの相互作用が図16に示されている。図16は変圧器タンク1の断面をリブ5と共に示し、第1高調波に代表的な動作時たわみ形が破線で示されている。また能動パネル6も示され、第1のパネル共鳴に普通な動作時たわみ形がついている。タンクと能動パネルの間の位相関係が明かに表示されており、－タンクが容積形音源なので、能動パネルは実効反容積形音源で

ある。誤差マイクロホン10はタンクと能動パネルの間に挟まれており、所望の周波数における音圧レベルはこの場所で最小にされる。このようにして、能動パネルはそれが遠距離音場に放射される前に音響エネルギーを吸収できる。

このマイクロホン／能動パネル構成はいくつかの理由で好まれる。第1に、センサをタンクの近くに置くことが高い信号対ノイズ比を保証し（したがって風によるものなどの騒音に伴う問題を制限し）、湾曲パネル間の交差項を少なくしている。第2に、この構成は、マイクロホンが変圧器の表面から非常に近くに（通常2.5cm（1インチ）未満）あっても遠距離音場において広域消音をもたらす。湾曲パネルはまた高次高調波を消去することもできる。これは能動パネルが今度はタンク上の圧電セラミック代ることができるので、アクチュエータの数を少なくする。この場合には、能動パネルの外のマイクロホン設置場所も必要なことがある。

上述のアクチュエータを用いて、図2に示された変圧器に対して能動制御計画が開発された。能動パネルが120Hz騒音に対する音響「ホットスポット」を覆ってタンクの表面に取付けられた。これらの能動パネルはまた、それらが偶然同時に240Hz騒音源に対して適切に置かれていたのですべての240Hz騒音源を消去するのにも用いられた。残りの240Hz騒音源はタンクに直接取付けられた圧電セラミックを用いて消去された。タンクの東側と北側に対するアク

チュエータ配置は図 1 7 及び 1 8 に示されている。

遠距離音場の騒音を検知するために圧電フィルムをマイクロホンまたは加速度計の代わりに用いることができる（適当な信号フィルタリングを行って）。代わりに、1 対のマイクロホン（又は加速度計足すマイクロホン）が音圧又はタンクの加速ではなくゼロにされるべき誤差信号として強さを（適当な信号フィルタリングを行って）検知するために使用できる。

変圧器タンク 1 のなおもう一つの図が図 1 9 に示されている。ここでは、変圧器は変圧器タンクの底を（潜在的音源である頂部のほかに）音源にしてしまう支持体の上に取付けられている。図 1 9 は、タンク 1 の頂部、底及び底支持体に取り付けられている圧電セラミック 9 を示しており、頂部、底及び底支持体を能動囲壁の一部分にしている。能動パネル 6 を変圧器 1 の頂部と底に示されている。図

1 9 にはまたラジエータバンク 2 0 が示されている。ラジエータバンクが音源であれば、一体センサ 9 を持った圧電セラミックを取付けてフィンの振動を制御できる。代わりに、ラジエータフィンに取り付けられた 2 1 のような慣性加振器を用いて振動を制御できる。なお、フィンに取り付けたこれらの圧電セラミック又は加振器を用いてラジエータフィンを拡声器として励振し、外部マイクロホン又は強さプローブを誤差センサとして使用できる。

「静止誘導器用広域消音装置」の動作は図 2 0 に例示されているように以下の通りである。この特定の制御構成はトレッタ（本明細書に引用によって組み入れられている米国特許第 5, 0 9 1, 9 5 3 号）によって論じられた多重相互作用自己適応制御装置を具体化している。この例の場合、制御装置は「パーソナルコンピュータ（PC）ベースである。ノイズ・キャンセレーション・テクノロジー・インコーポレーションによって作られたこの制御装置は、最大 6 4 入力及び最大 3 2 出力を使用できる。入力と出力は完全に結合されている。動作は任意の地方 1 2 0 ボルトコンセントからの線路電圧が変圧器を用いて約 1 ボルトに降圧されて、PC ベース制御装置内の処理装置盤に送られる。この基準信号 2 4 は消去されるべき騒音の周波数内容に関係する。基準信号 2 4 はまたマイクロホン（又は他の誤差センサ）の出力と非常にコヒーレントである。

タンクに隣接した音圧レベルはマイクロホン10によって測定される。マイクロホンは音圧を変圧器に隣接した接続箱32に送られる電圧信号に変換する。次に誤差センサ信号は中継ケーブルによって変電所構内にある制御建屋にある入力フィルタ36に送られる。フィルタされた誤差センサ信号は、次にAD変換器37で標本化されて処理装置盤25に送られる。次にデジタル誤差センサ信号は基準信号及び処理装置盤25にあるフィルタドーX更新方程式と共同して用いられて処理装置盤25内の適応デジタルフィルタの係数を適応させるか又は変えて誤差センサをできるだけ最小にする出力信号を発生する。処理装置盤25からのデジタル出力信号は増幅器29（電源30によって電力を供給される）によって増幅され、中継ケーブルによって変電所建物から変圧器にある接続箱に送られる。増幅され、中継ケーブルによって変電所建物から変圧器にある接続箱に送られる。増幅された出力信号は、次にタンクに付いている能動パネル6とアクチュエータ

9に送られる。タンクに付いているアクチュエータ9はそれによって、励振周波数（240Hz）の第2高調波によって励振されるタンク上の音響的放射モードを消去する。タンクに付いている能動パネル6はそれによって基本励振周波数（120Hz）によって励振されるタンク上の音響的放射モードによって放射された騒音を消去する。アクチュエータと制御チャネルの数を減らすために、タンクに付いている能動パネル6はまた励振周波数の第2高調波によって励振されるタンク上のモードによって放射される騒音を消去することができる。誤差センサ（図20においてマイクロホン10として示されている）は、遠距離音場において大きな広域低減があるような方法で変圧器の近くに置かれなければならない。PCベース制御装置には制御装置の遠隔通信と操作を可能にするMODEM（38）がある。

この装置が適当に働くためには、120Hzにおける伝達関数マトリックスにおける各項が普通はタンク上の圧電セラミックに対してゼロにされなければならない。さもなければこれらのアクチュエータへの信号がすぐにクリップする（タンク上の圧電セラミックの120Hzにおける低い制御オーソリティのために）1

20Hz成分を含んでいることに注意されたい。

遠距離音場における変圧器騒音の大きな広域低減が上述の装置を変圧器に設置するとき測定されたが、この変圧器に用いるタンクが図2に示されている。例えば15dBAの低減が第1及び第2高調波に対して測定された。図21は装置の変圧器側面に関する制御オフ／制御オン性能を120Hzトーンの場合に示している。図22は装置の変圧器側面に関する制御オフ／制御オン性能を240Hzトーンの場合に示している。これらの測定値は、1/3オクターブ帯域フィルタの付いたブルエル（Brüel）及びケール（Kjær）音量計を用いて変圧器から10mのところで行われた。音響低減のこれらの測定値は音量計の近所の暗騒音レベルによって制限された。暗騒音レベルが低いほど大きな低減が測定された。例えば、最大28dBAの低減が住宅地域で夜間又は早朝に起こるような低暗騒音レベルで第1高調波に対して測定された。誤差マイクロホンが変圧器タンクに近い場合に十分な信号対ノイズ比があるので、消音装置の性能が暗騒音と共に変化しないことに注意されたい。それは暗騒音レベルと共に変わる音量計に

よって測定された知覚低減に過ぎない。

この能動制御装置によって消費される電力は最小量である。アクチュエータに対して測定された最大電力は5Wである。代表的消費電力は1W／アクチュエータである。従って50アクチュエータの場合でさえ、全電力消費量は1kWよりずっと小さいであろう。従ってこの装置による電力消費量は問題でない。

能動制御機構の場合、すべてのアクチュエータとセンサは変圧器に付いているかすぐ近くにあるかどうかであることに注意されたい。従って、アクチュエータやセンサが損傷を受けやすかったり又は変電所における保守若しくは修理を妨げやすい構内にはアクチュエータ又はセンサがない。

旧式の既存の変圧器は特にやかましい。これらの変圧器の据付けられている住宅地域にある変電所は、普通、土地の境界線の騒音限界に対する現在の法律にかなわないので、公共事業に対する不平のもとになることが多い。新式で低騒音の変圧器が土地の境界線の騒音限界にかなうこれらの変電所には十分な土地面積があることが多い。しかし、旧式の変圧器は、数十年の耐用寿命の残っていること

がある。変圧器を厳密に低騒音のものに置換することは非常に費用がかかる。やかましい変圧器のまわりに受動囲壁を建設することはほとんど同じように費用がかかる。しかし、本明細書で説明した発明の設置は、変圧器交換又は受動囲壁の建設の費用の何分の一かで変圧器騒音をずっと低いレベルに低減できる。

変圧器には2種類の損失がある。すなわち巻線損失と鉄心損失である。損失のほとんどは巻線内にあり、これらは変圧器の全体の大きさと重量をほとんど増加させることなく巻線材料を追加することによって容易に減らすことができる。しかし騒音を小さくするために製造者に利用できる主な手段は鉄心内の磁束密度を減らすこと（すなわち、鉄心材料を増やすこと）である。これは変圧器の寸法と重量をかなり大きくする。それゆえ製造者は変圧器の寸法、重量及び価格をかなり増加させて鉄心材料を追加することによって騒音を小さくしながら損失を減らしている。騒音が関係しなければ、変圧器をもっと小さく、軽くそして低損失（すなわち、低価格）で構成できるであろう。寸法と重量を小さくすることはまた積出しを容易にし基礎を小さくして低価格に転換することを意味する。変圧器からの騒音レベルが高いと、電力会社に変電所を工業地域内、高速道路付近又は

変圧器騒音が余り害にならないその他の地域に置かせることが多い。電力会社は線路損失を小さくするために最終使用者に近く変圧器を設置することを好む。電力会社の変圧器を住宅地に設置すると、それらは普通は広い面積の土地を購入する（変圧器からの実効騒音を低減するために距離を用いるために）か又は高価な低騒音変圧器を購入するか、又は普通の変圧器を購入してそれらを高価な受動囲壁で囲う必要がある。本明細書で請求された発明は変圧器騒音を暗騒音レベルに小さくするだけでなく、変圧器及び配電網の設計及び建設の仕方を根本的に変え、もっとコンパクトな変電所ともっと効率的な回路網を可能にし、全回路網価格を潜在的に下げることがを約束する。

【図1】

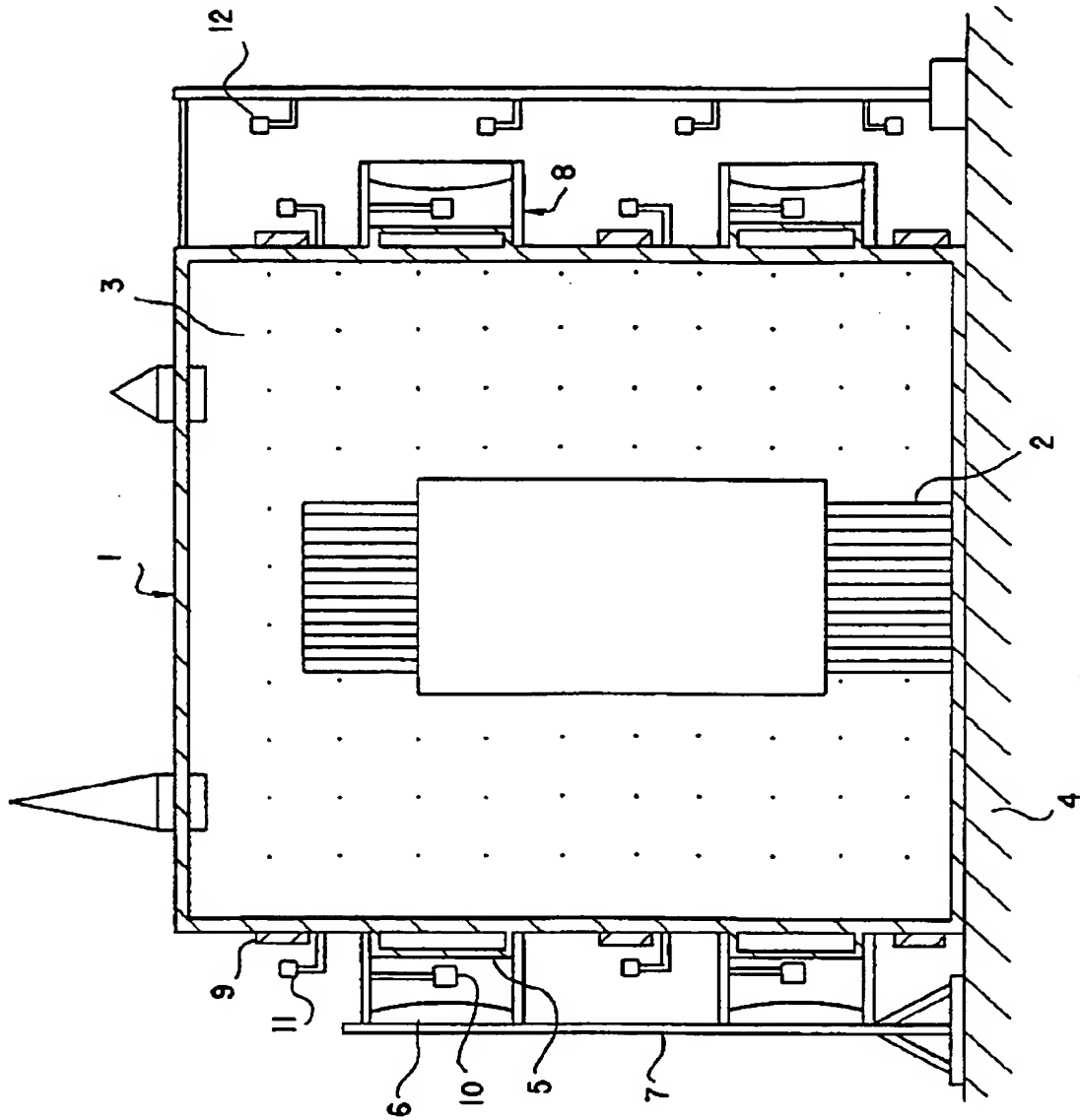


FIG. 1

【図 2】

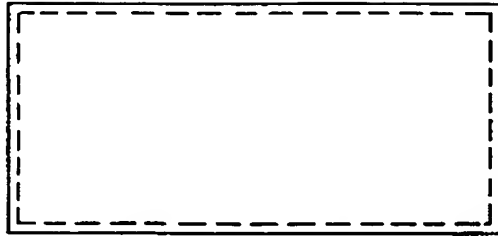


FIG. 2a

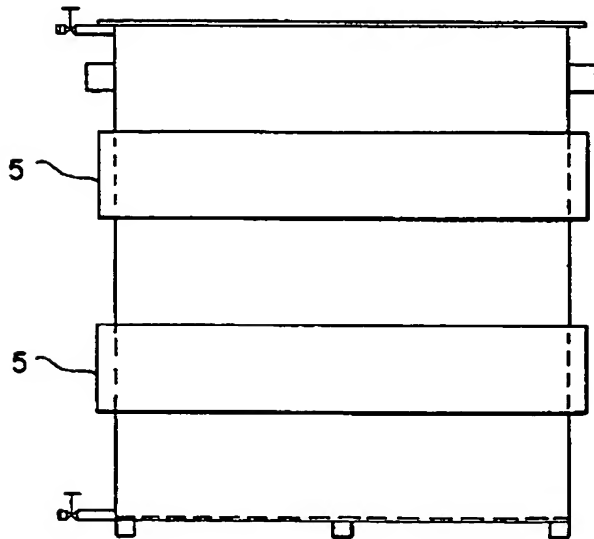


FIG. 2b

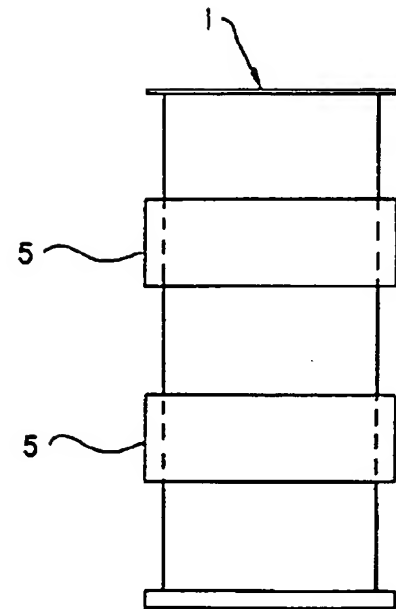


FIG. 2c

【図 3】

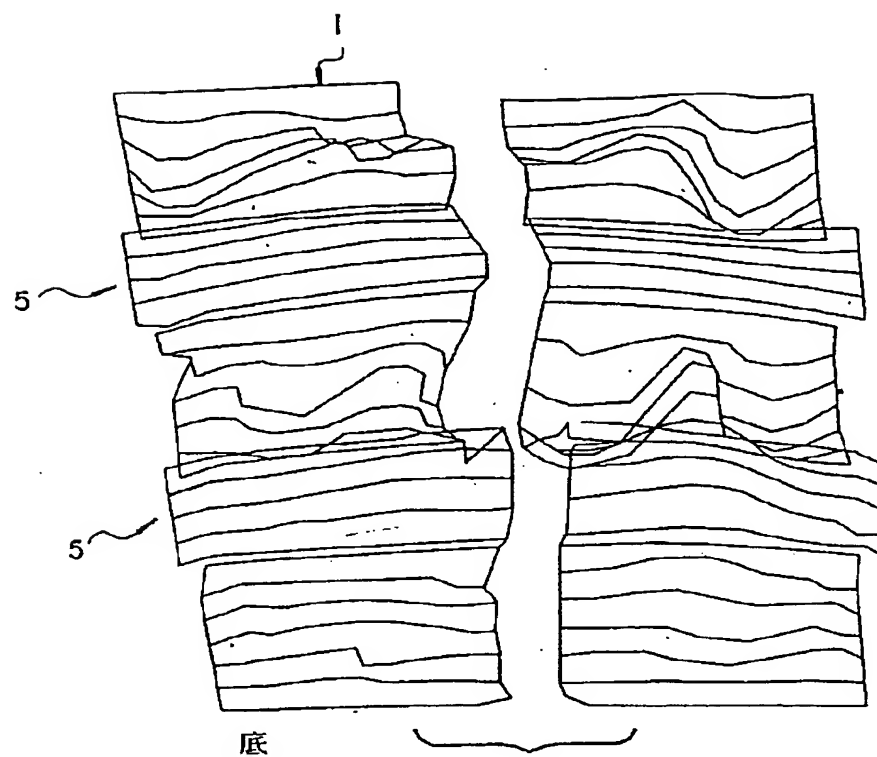
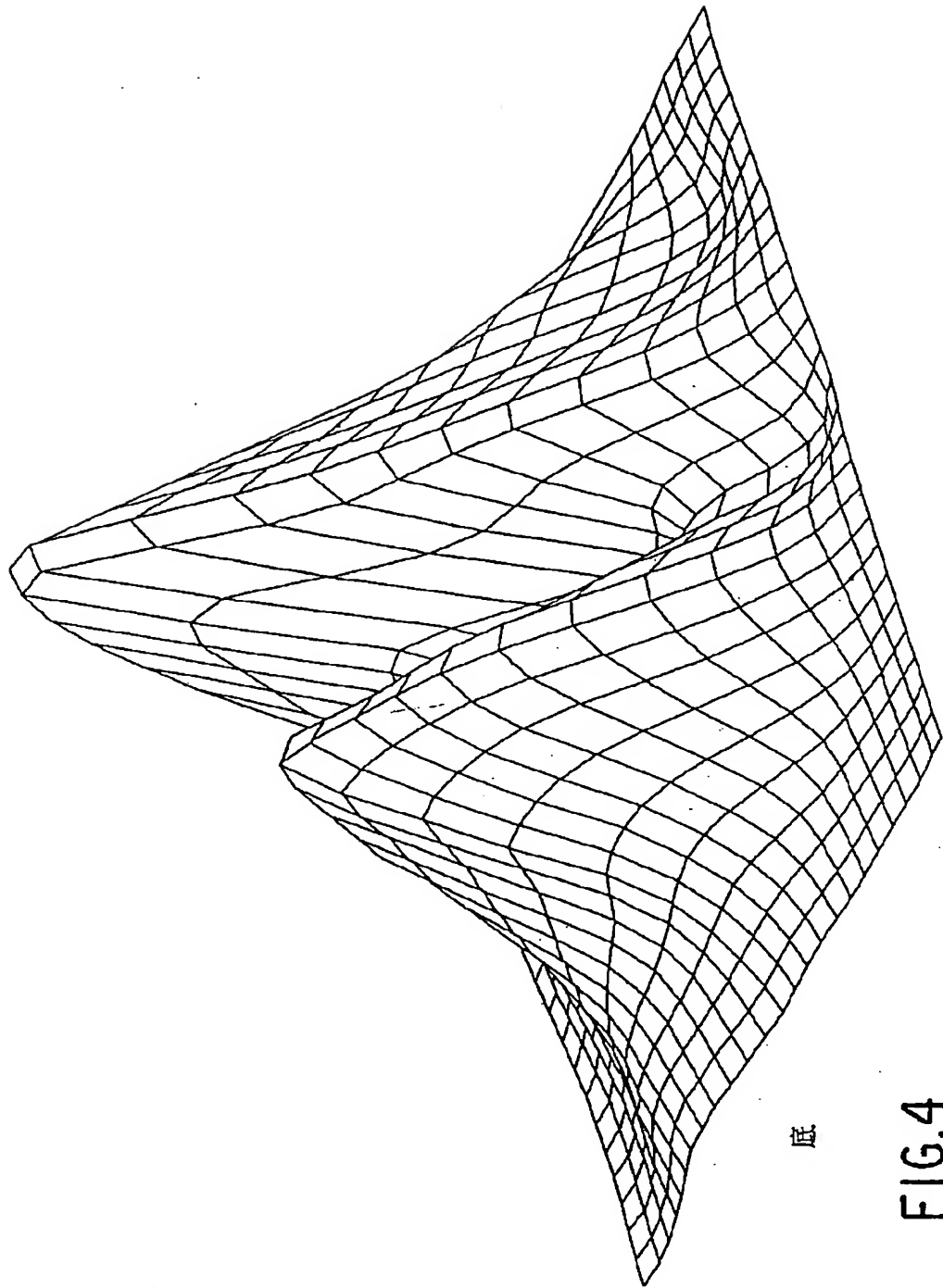


FIG.3

【図4】



底

FIG.4

【図 5】

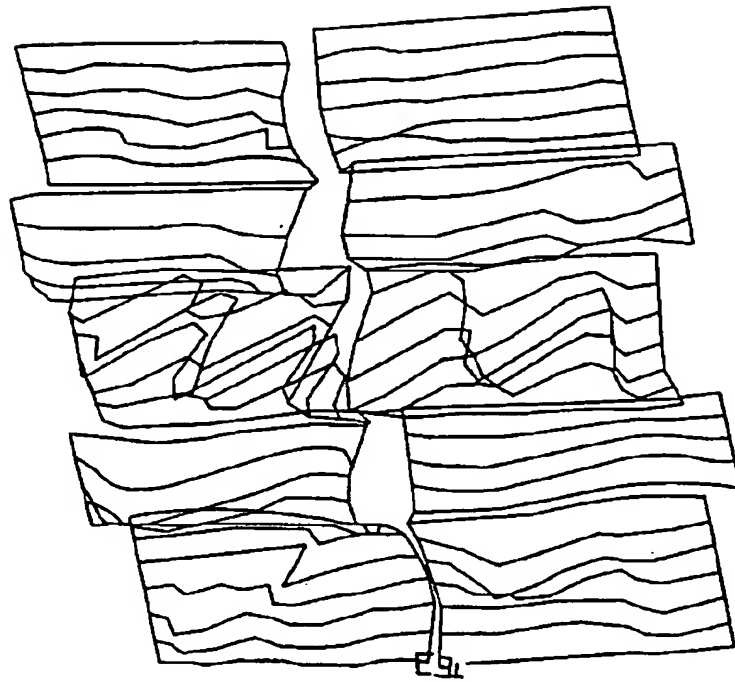


FIG.5

【图6】

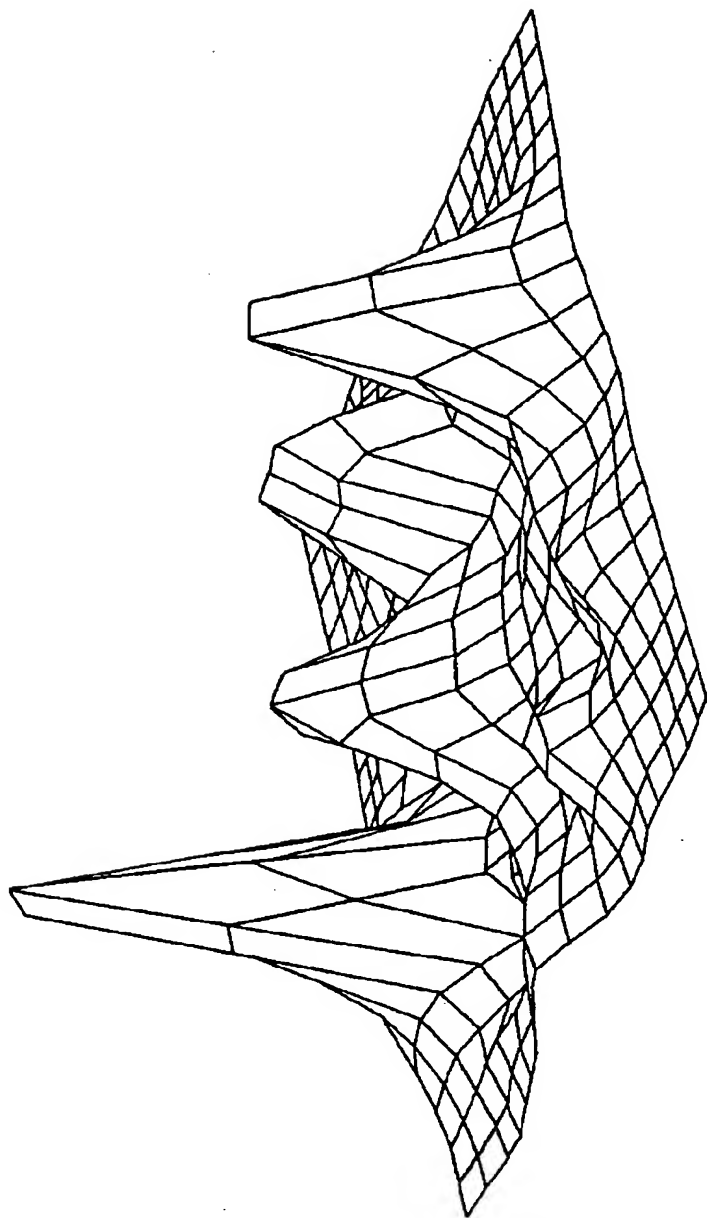


FIG.6

【図7】

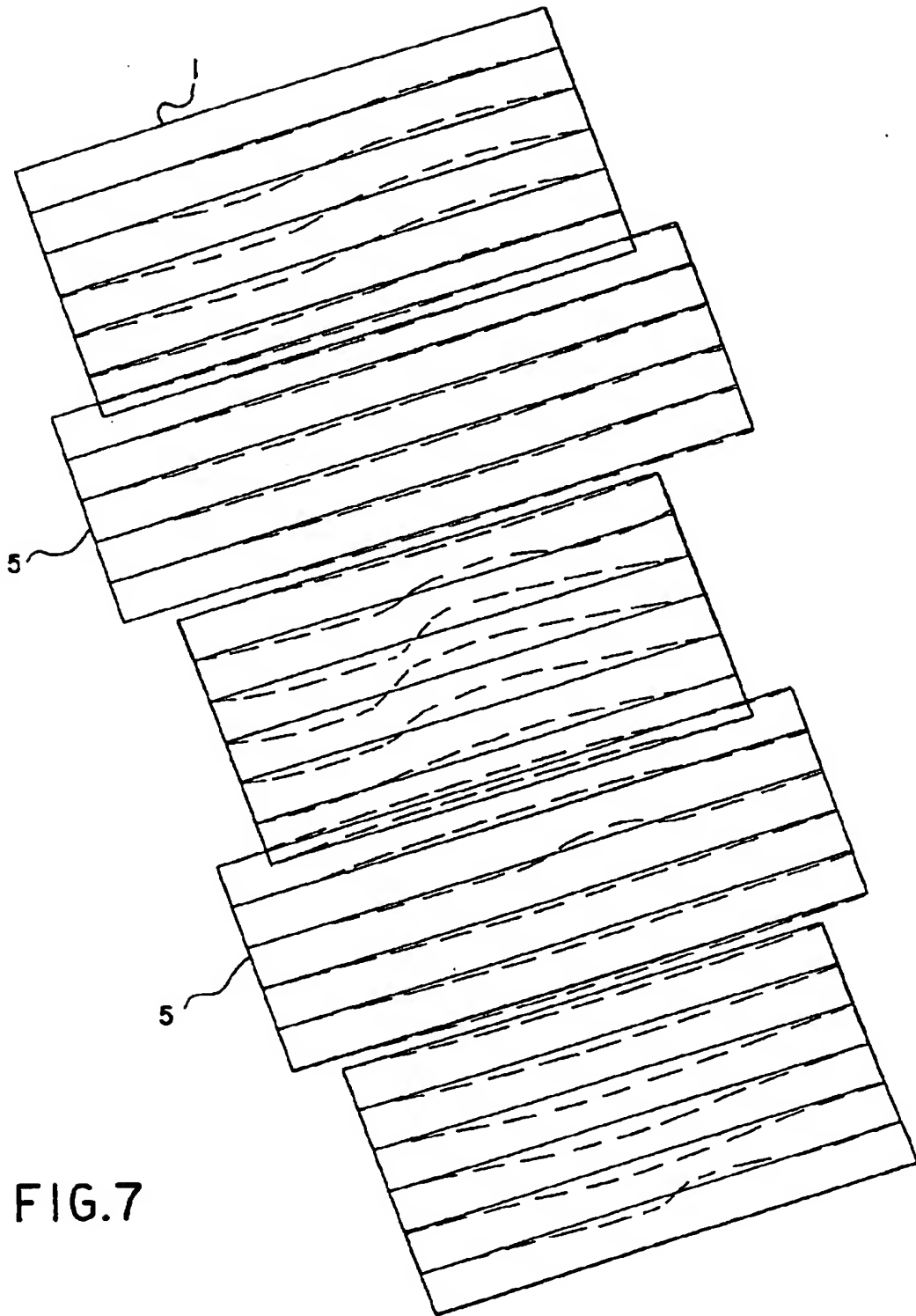


FIG.7

【图8】

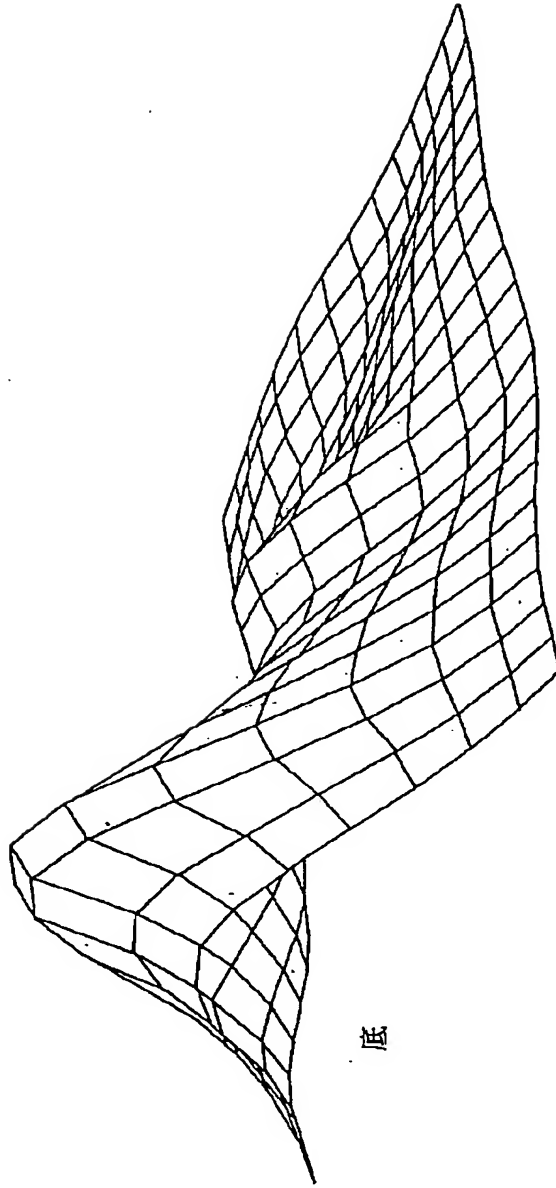


FIG.8

【図9】

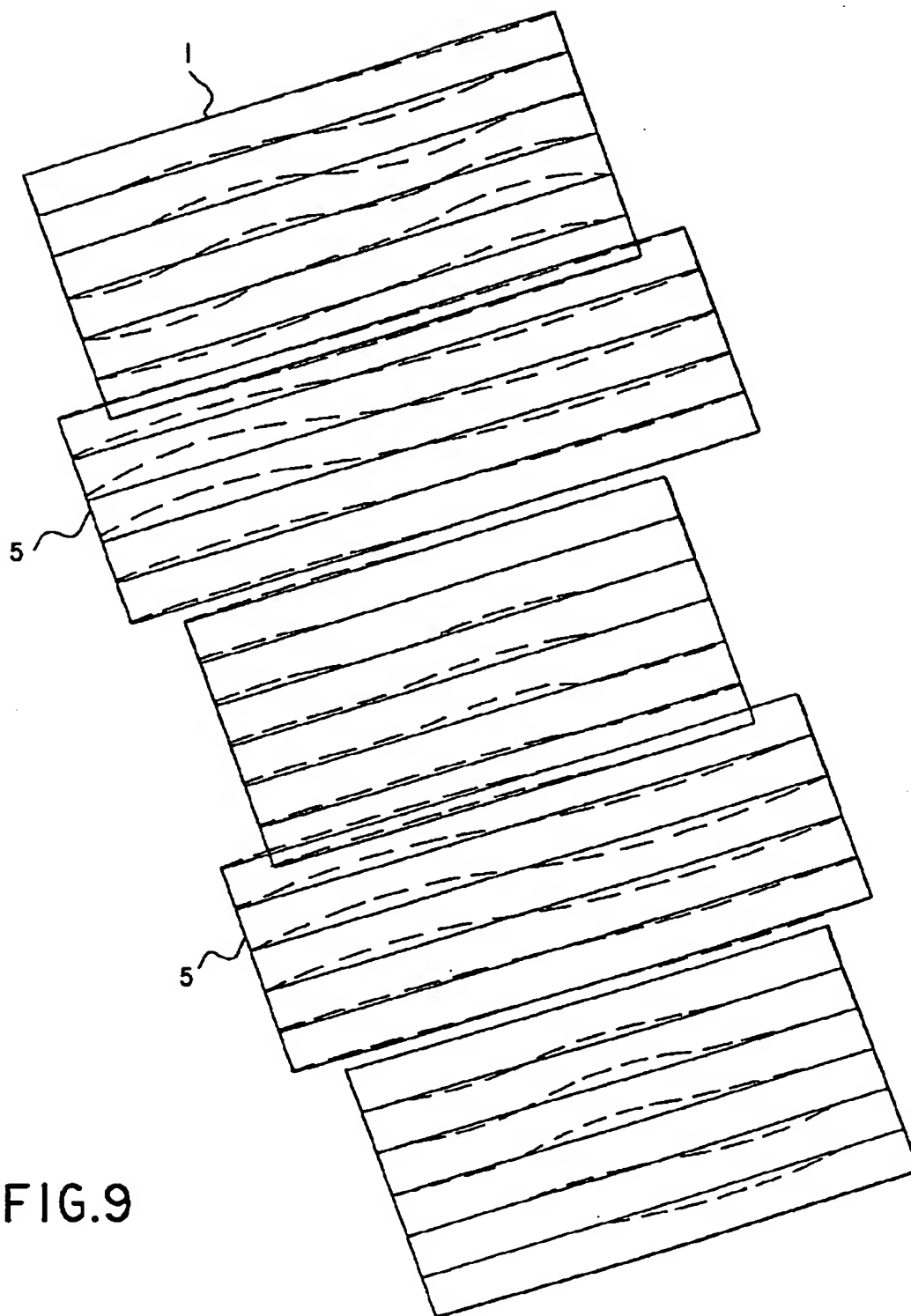


FIG.9

【図10】

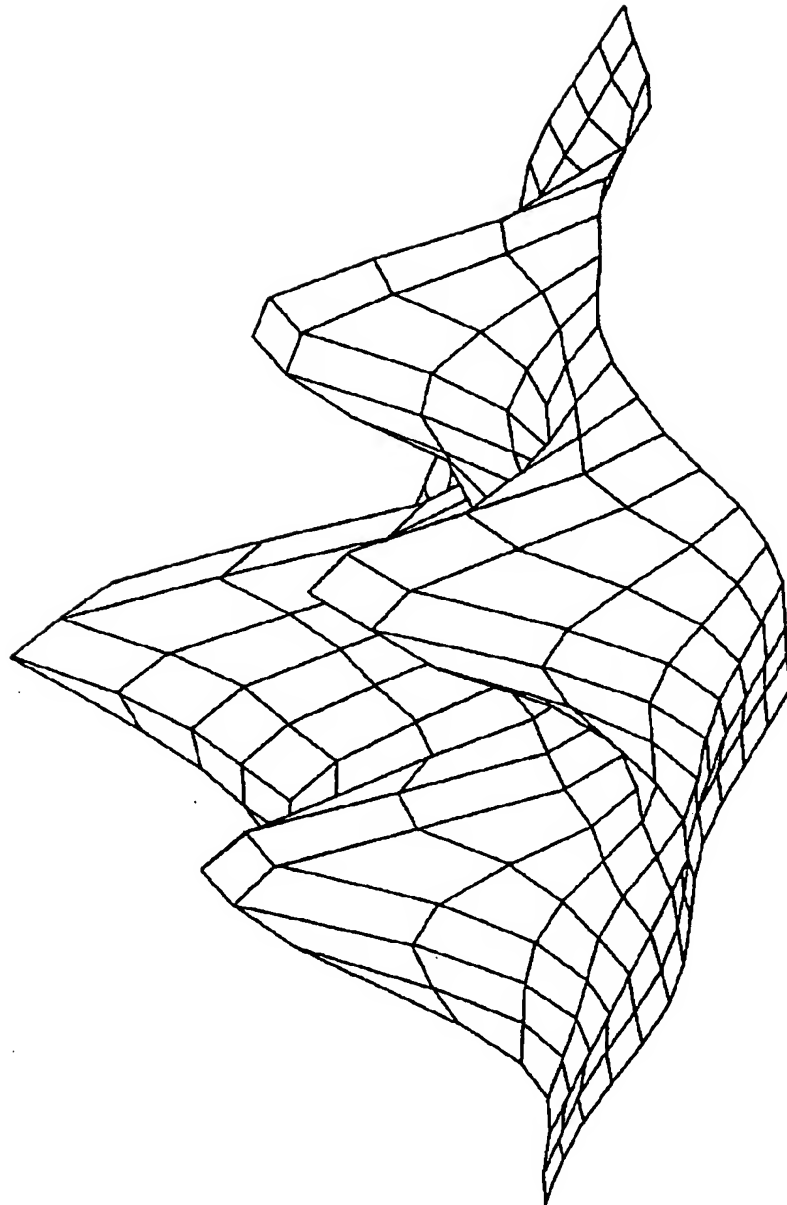


FIG.10

【図 11】

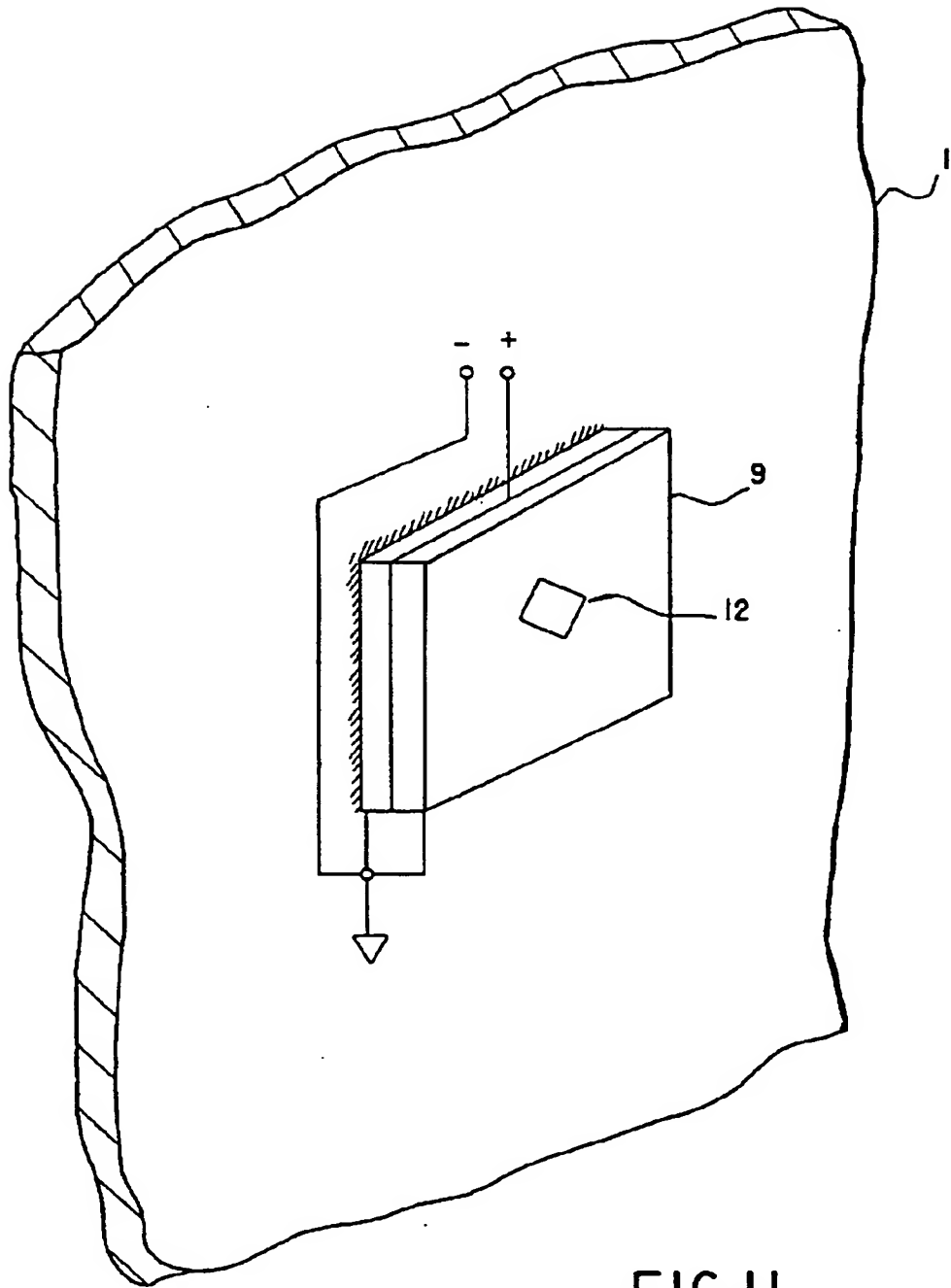


FIG.11

【図 12】

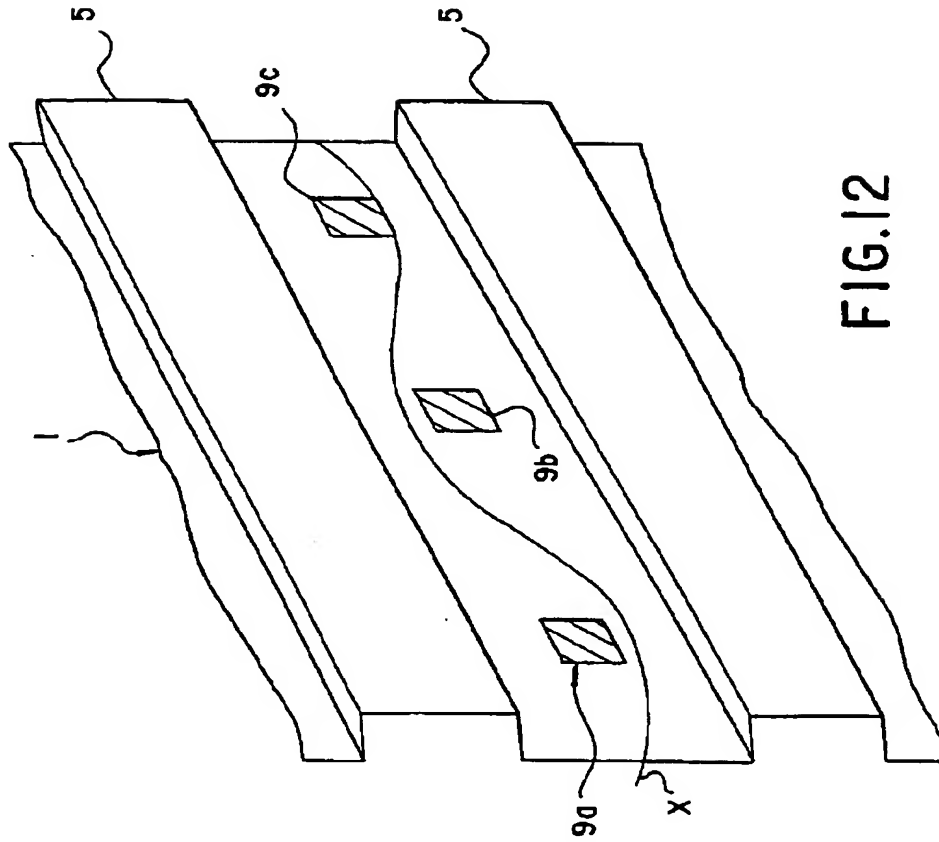


FIG.12

【図 13】

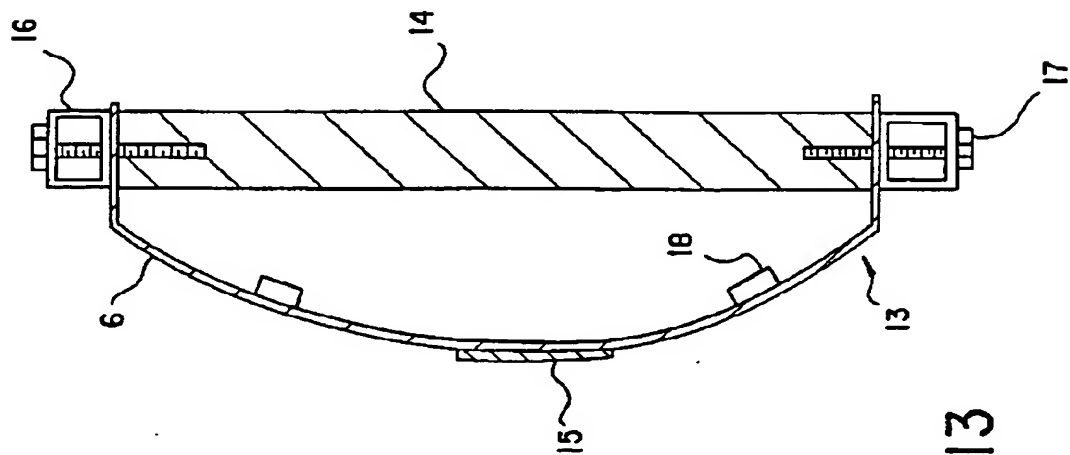


FIG.13

【図14】

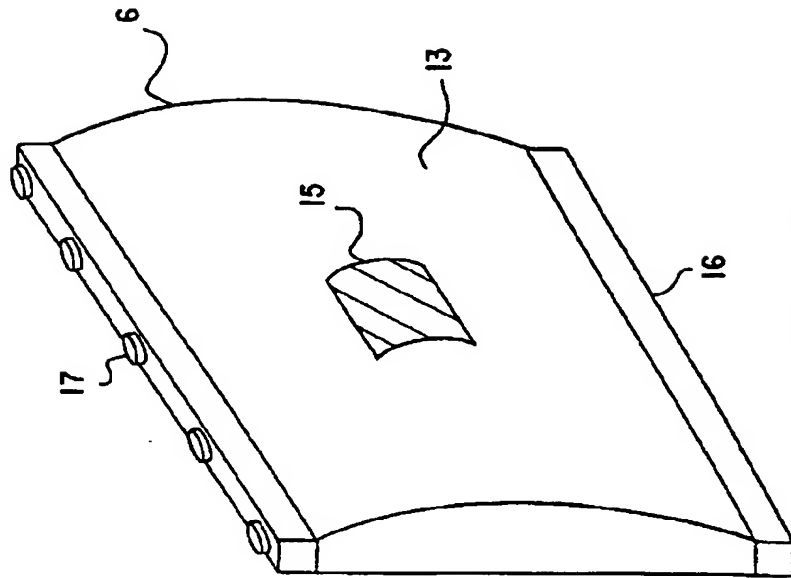


FIG.14

【図15】

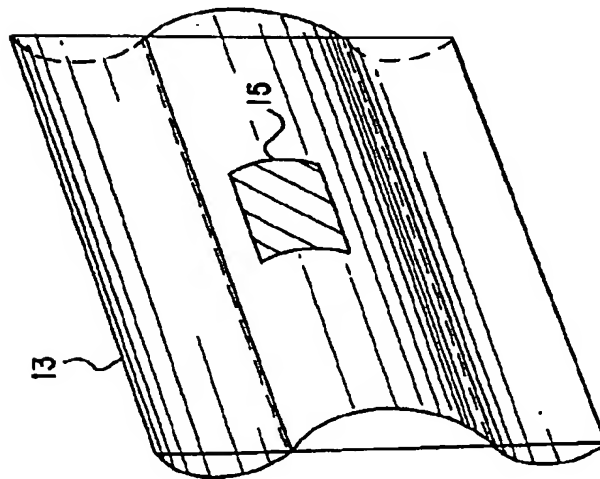


FIG.15a

【図15】

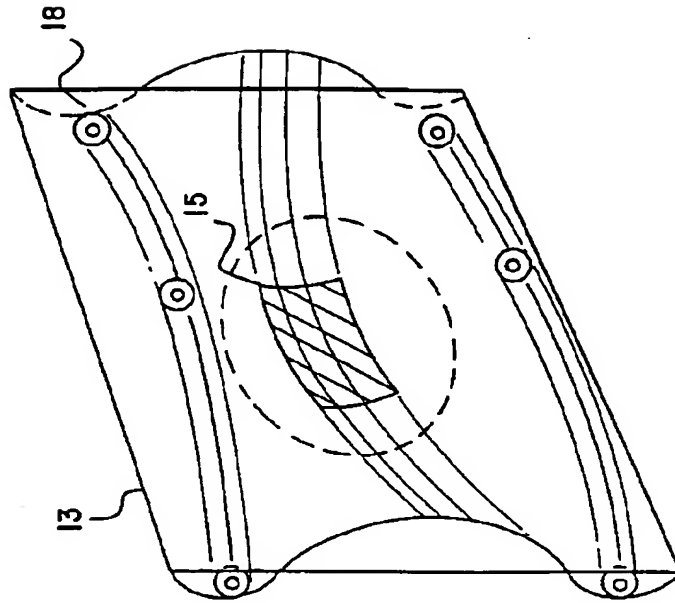


FIG.15b

【図16】

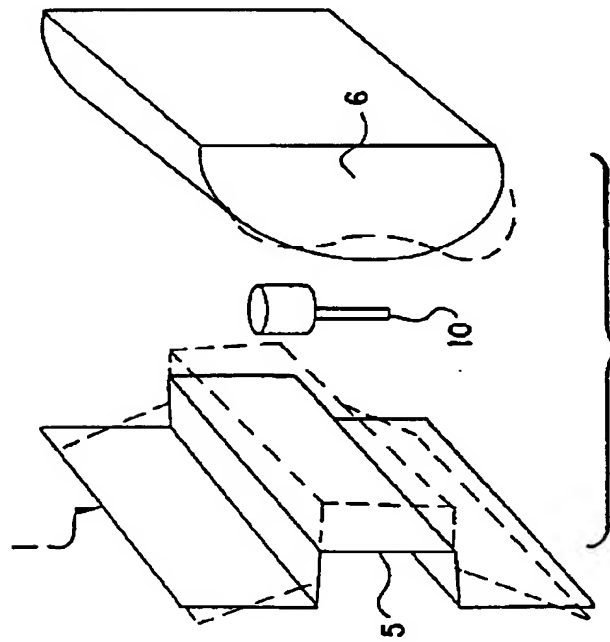


FIG.16

【図 17】

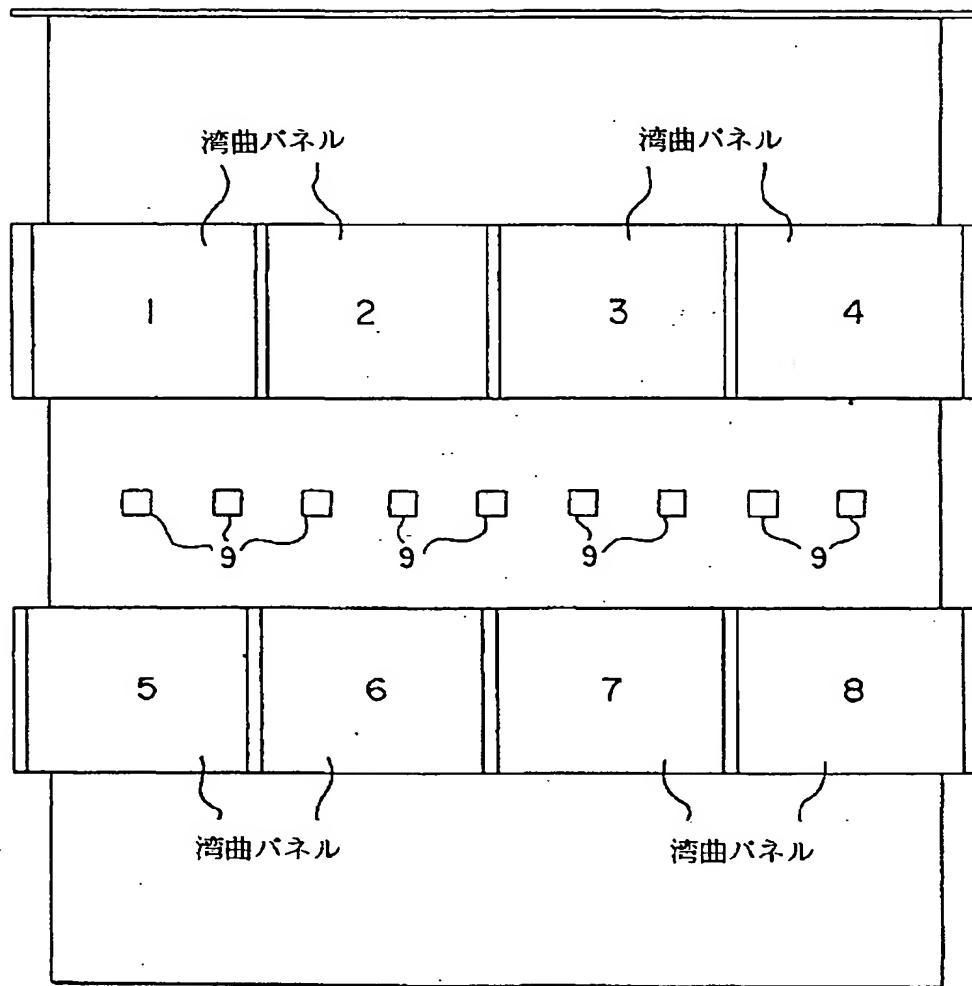


FIG.17

【図18】

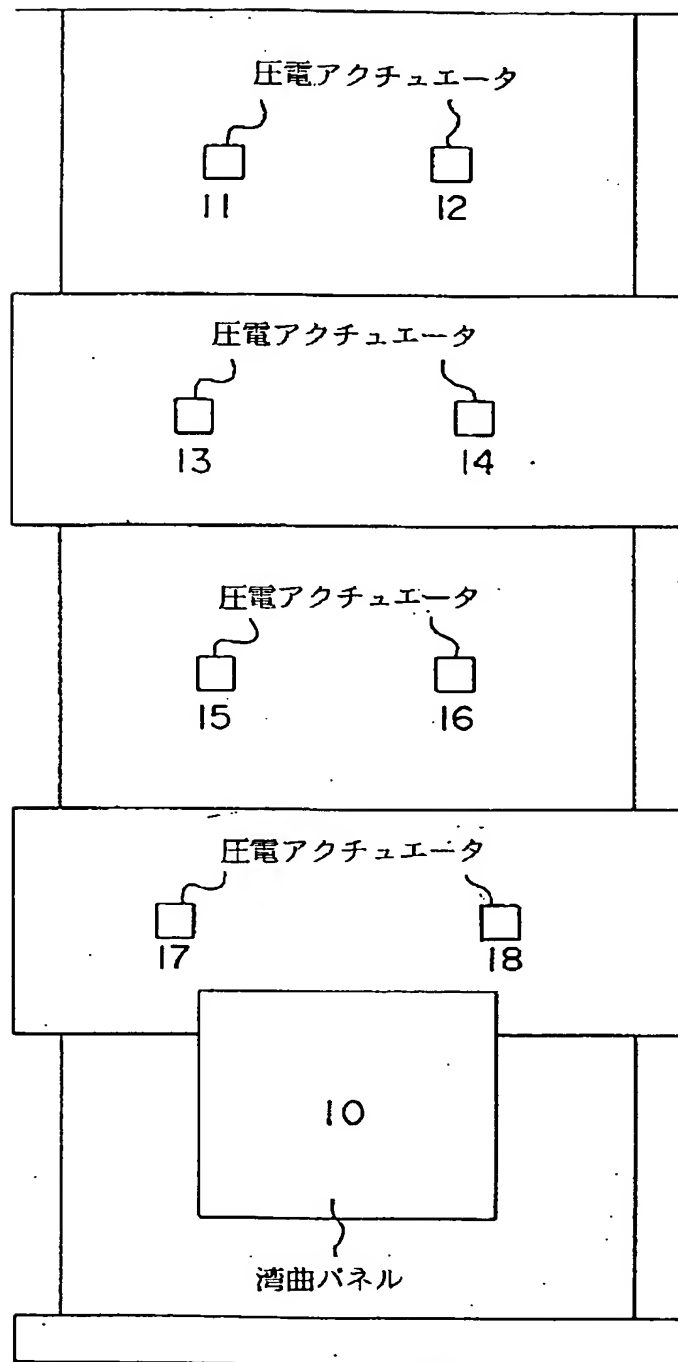


FIG.18

【図 19】

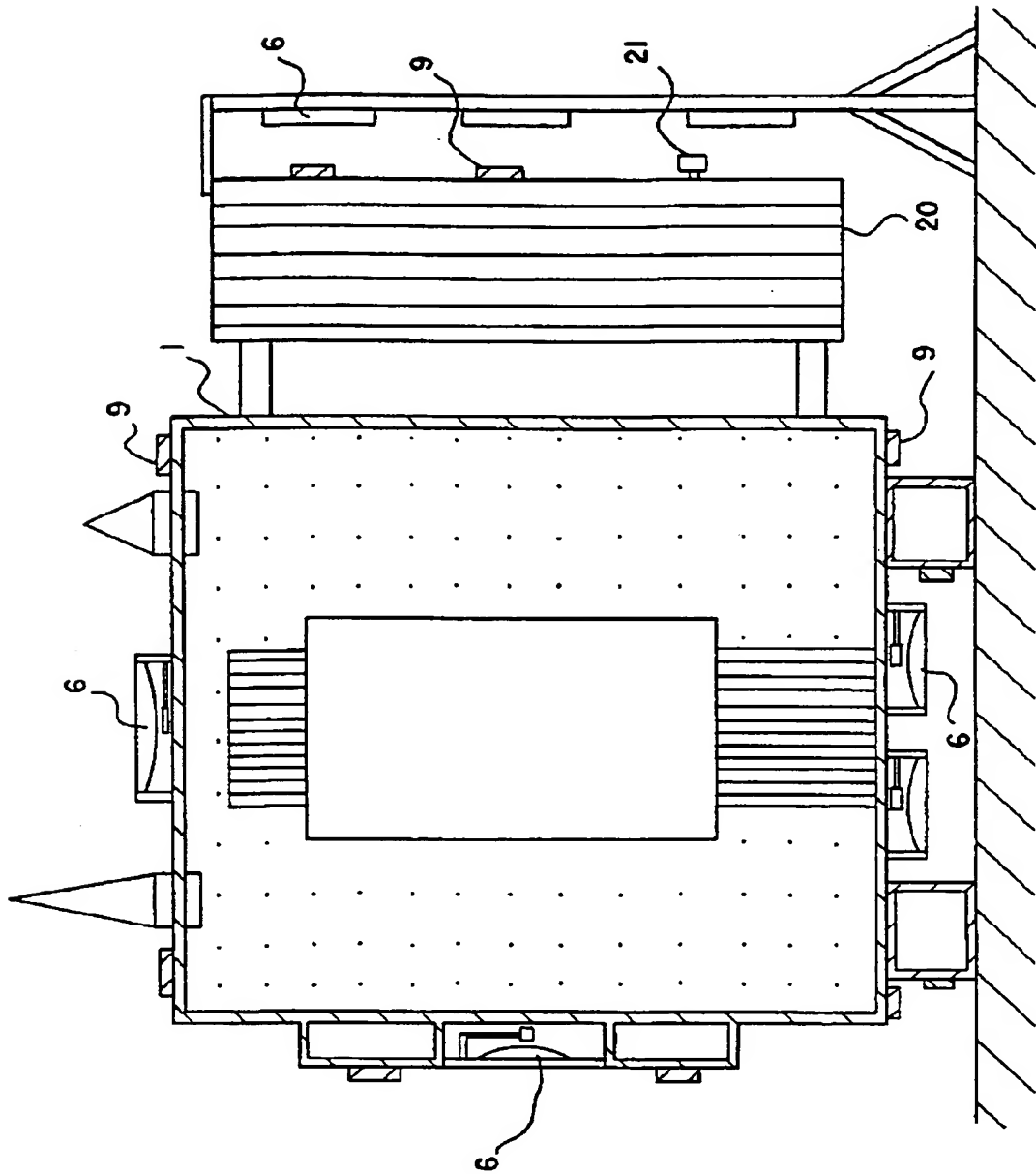
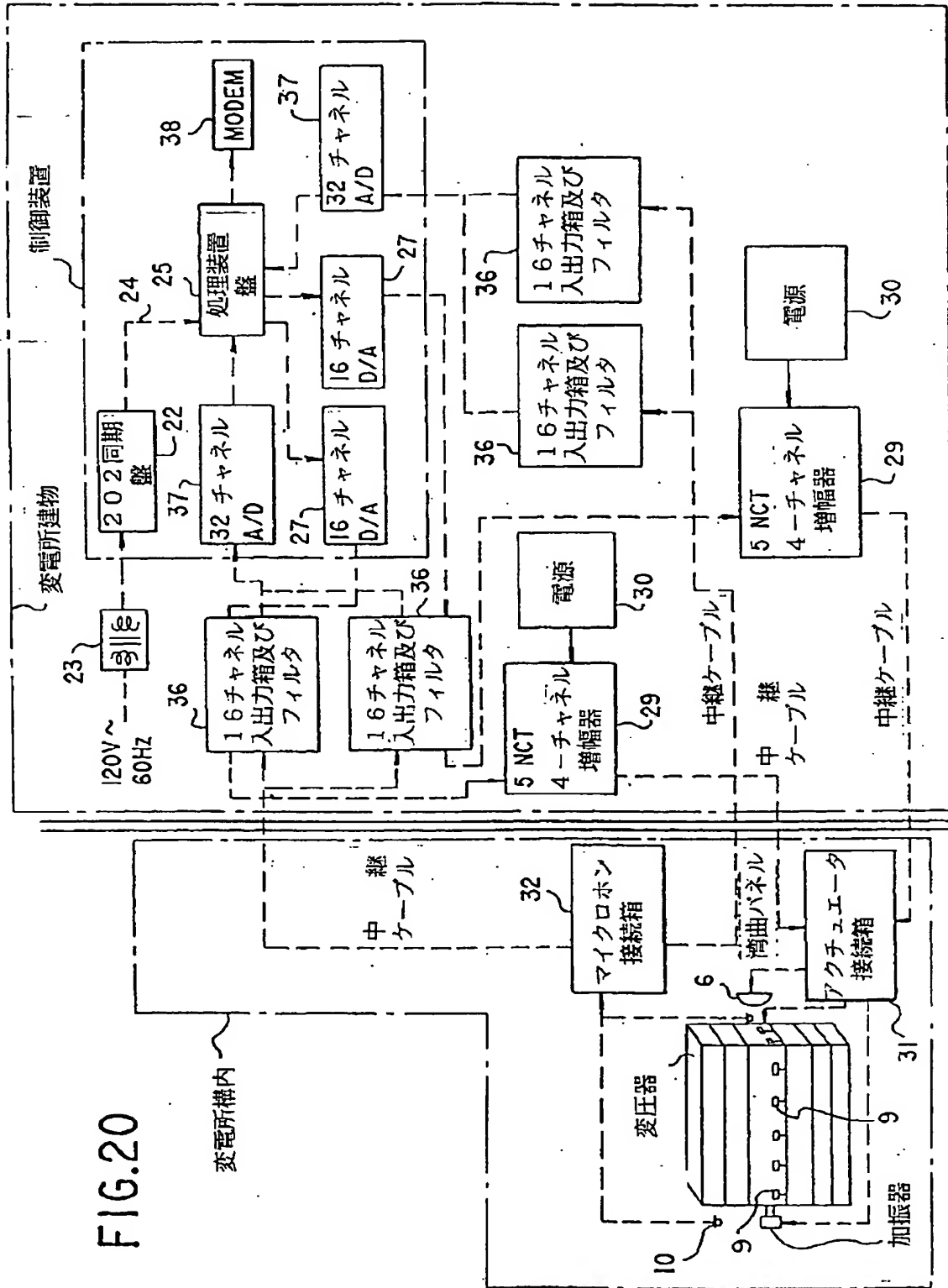


FIG.19

【図20】



【図 2 1】

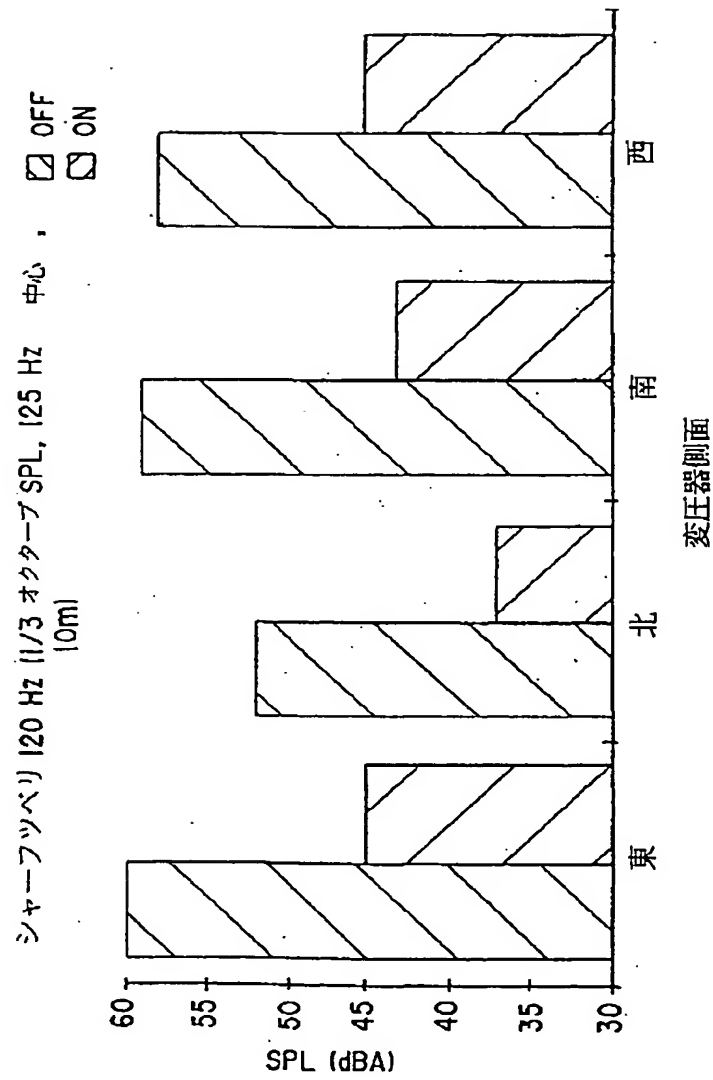


FIG.21

【図22】

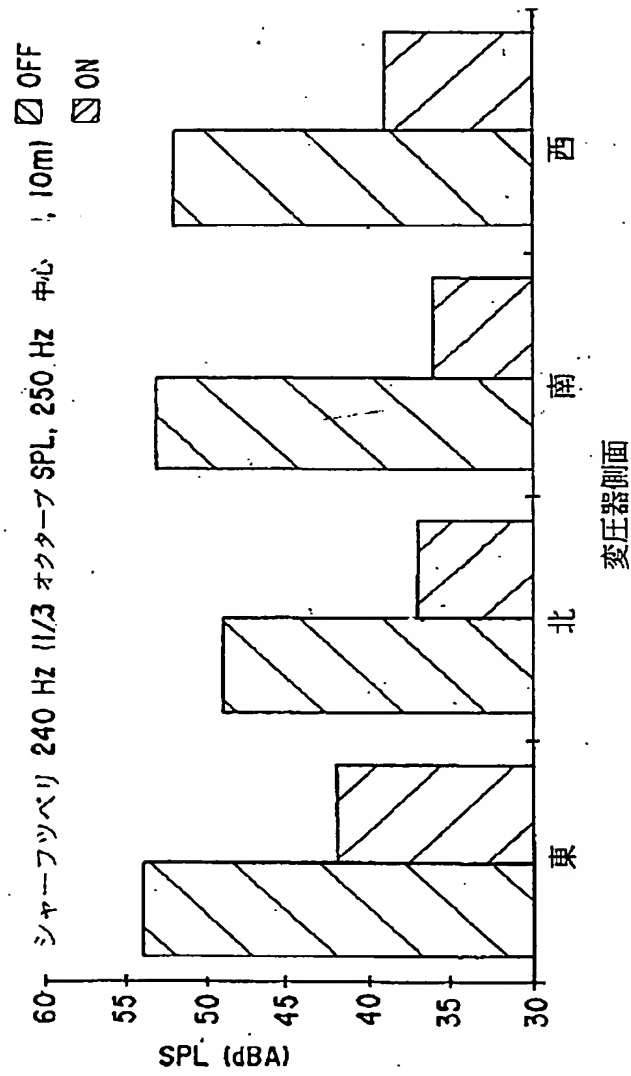


FIG.22

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/US94/09712

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC(5) :G10K 11/16

US CL :381/71

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

U.S. : 381/71

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
None

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
None

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X ----- Y	O. L. Angevine, "Active Cancellation of the Hum of Large Electric Transformers," Proceedings of Inter-Noise, July 20-22, 1992. See Figures 1-3 and section titled "Effective Cancellation Systems".	1,4,9,10 -----2,3,5- 8,11-28
Y	US, A, 5,020,978 (NASHIF) 04 June 1991. See column 4, lines 17-32.	16-28
A	Varadan et al, "Active Control of Sound Radiation from a Vibrating Structure," IEEE, Ultrasonics Symposium, 1991.	1-28

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	* T
* A* document defining the ground state of the art which is not considered to be part of particular relevance	* T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
* E* earlier document published on or after the international filing date	* X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
* L* documents which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	* Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
* O* documents referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	* A* document member of the same patent family
* P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search

23 NOVEMBER 1994

Date of mailing of the international search report

17 JAN 1995

Name and mailing address of the ISA/US
Commissioner of Patents and Trademarks
Box PCT
Washington, D.C. 20231

Facsimile No. (703) 305-3230

Authorized officer

W. W. Isen

Telephone No. (703) 305-4386

Form PCT/ISA/210 (second sheet)(July 1992)*